



Robot odbremenil ľudí od monotónnej práce

Robotizácia procesov už dávno nie je výsadou automobilového priemyslu. Roboty sa vďaka klesajúcej cene presadzujú v čoraz väčšej miere v mnohých priemyselných odvetviach od strojárstva cez potravinárstvo, obuvníctvo až po priemysel spracovania dreva. S výhodou odbremenia ľudí od monotónnych, opakujúcich sa a neraz aj namáhavých činností. Túto filozofiu uplatnili aj v spoločnosti Danfoss Compressors, spol. s r. o., v Zlatých Moravciach, kde ľudskú stereotypnú prácu prekladania liatinových blokov nahradili šikovným nevelkým robotom od svetoznámeho japonského výrobcu Fanuc Robotics. Zaujímavosťou pritom je, že prvý kontakt medzi oboma spoločnosťami prebehol na minuloročnom MSV v Brne, kde zástupca závodu v Zlatých Moravciach navštívil stánok Fanuc Robotics s požiadavkou na návrh realizácie robotického pracoviska. Tento prvý kontakt napokon prerástol do spolupráce, pričom realizácie technického riešenia sa zhostil systémový integrátor japonského výrobcu BOST SK z Trenčína.

Linka obrábania liatinových blokov

Na linke prebieha opracúvanie odliatku, z ktorého sa na konci linky vyhotovuje funkčný blok kompresora a do neho sa priamo osadzuje hriadeľ a piest. Prvou fázou v linke je obrábacie centrum Jestad, ktoré vstupujúci odliatok prakticky kompletne opracuje. Niektoré operácie, ako sú jemnejšie frézovanie dier a otvorov či čistenie obrobkov, sa vykonávajú na ďalších stanovištiach linky. Za obrábacím centrom nasleduje jednúčelový stroj Comasmo slúžiaci na zrezanie hrany tzv. tretej nohy opracúvaného liatinového bloku kompresora a vyvrtanie diery do zrezanej hrany. Tieto operácie z konštrukčného hľadiska nie je schopné vykonávať obrábacie centrum na vstupe celej linky.



Obrábacie centrum Jestad

Po doplnkovom opracovaní na stroji Comasmo nasleduje na linke z hľadiska ďalších vykonávaných operácií finálne opracovanie, čistenie obrobkov v práčke (vrátane konzervácie), montážny stôl (montáž sa nevykonáva na každom obrobku) a vyskladňovacie zariadenie.



Neopracovaný odliatok vstupujúci do stroja Jestadt

Inovácia pracoviska vkladania blokov do stroja Comasmo

Základným cieľom inovácie bola minimalizácia ľudského faktora na pracovisku s následným presunutím týchto pracovníkov do iných fáz výroby. Pred inováciou na pracovisku vkladal jeden pracovník počas 12-hodinovej zmeny obrobky do stroja Comasmo a následne ich z neho vyberal. Vzhľadom na nepretržitú prevádzku potrebovali na tomto poste za jeden deň dvoch pracovníkov.

Varianty technického riešenia

Realizácia technického riešenia obsahovala aj alternatívu inštalácie jednoduchej pneumatickej prekladačky. Jeho veľkou nevýhodou je však riešenie prispôbené presne daným požiadavkám aplikácie bez možnosti ďalšej modifikácie a tým minimálna perspektíva iného využitia. Z tohto hľadiska je oveľa flexibilnejšia práve robotická aplikácia, pre ktorú sa napokon v závode rozhodli. Jednou zo základných požiadaviek technickej realizácie pracoviska bolo dodržanie dovtedajšieho pracovného cyklu na úrovni 11 sekúnd, ktorý je daný rýchlosťou operácií vstupného obrábacieho centra.

Potrebné bolo vyriešiť kontinuálnu nadväznosť procesov na linke, ktorej súčasťou bol pred tým obsluhujúci personál. Dôležité bolo zabezpečiť dostatočne spoľahlivú komunikáciu medzi vstupným obrábacím centrom, dopravníkom, robotom a následným jednúčelovým strojom. Zvýšená pozornosť sa venovala aj zaisteniu bezpečnosti pracoviska. Každý z celkov, čiže oba stroje aj robot disponujú vlastným riadiacim systémom, vzájomne sa obsluhujú a navzájom komunikujú.



Vstupná časť dopravníka. Na tomto mieste sa na dopravník nakladajú odliatky, ktoré sú dopravované do stroja Jestadt



Koncepčné zmeny

Pôvodné rozloženie pracoviska sa inštaláciou robota mierne upravilo, a to zmenou pozície jednoúčelového stroja Comasmo pre jednoduchšie programovanie robota. Niektoré ochranné prvky jednoúčelového stroja, ktoré boli nevyhnutné na ochranu zdravia obsluhujúceho personálu, sa po nasadení robota mohli odstrániť. Týka sa to najmä ochranného krytia pracovného priestoru stroja. Inštalácia robota si vyžiadala postavenie ochranného oplotenia.



Pohľad do pracovného priestoru stroja Comasmo

Takisto sa prerábala bezpečnostný systém pracoviska. Pôvodne sa stroj spúšťal do chodu dvojtlačidlom, po inovácii to zabezpečuje signál robota. Prístup do ochrannej zóny robota je možný iba cez vstupné dvere oplotenia, ktoré sú pripojené na koncový bezpečnostný snímač. Po vstupe človeka do tohto priestoru sa okamžite zastavuje činnosť robota aj jednoúčelového stroja Comasmo. Pokiaľ nie je v poriadku bezpečnostný okruh stroja Comasmo, robot okamžite zastaví svoju činnosť a naopak. Elektrické obvody robota a ostatných spolupracujúcich zariadení sú samostatné.

Pracovné operácie pracoviska

Robot v princípe supluje prácu človeka. Prekladá obrobky z dopravného pásu do jednoúčelového stroja, kde prebehnú operácie opracovania, a následne ich zo stroja premiestňuje späť na dopravný pás. Celý takt od vloženia, opracovania a vybrania obrobku zo stroja trvá 11 sekúnd, čo bol čas, ktorý mal vyhradený pred inováciou aj obsluhujúci personál. Po inovácii sa na dopravný pás nainštaloval tzv. stopper, prvok na zastavovanie prichádzajúceho vozíka. Jeho súčasťou je snímač prítomnosti, ktorý posiela signál na zastavenie pásu, len čo zaregistruje prítomnosť vozíka, na ktorom sa nachádza obrobok. Robot vzápätí uchopí obrobok, vyberie ho a vloží už opracovaný blok. Následne vloží neopracovaný obrobok do jednoúčelového stroja.

Koncepcia robotického pracoviska

Koncepcia pracoviska vychádza z myšlienky, že všetky operácie potrebné na uskutočnenie procesu preloženia bude riadiť riadiaci systém



Robot čaká na príchod vozíka s obrobkom, pohľad z vonkajšej strany bezpečnostnej ohrady



roboť. Patrí sem riadenie stoppera, sledovanie polohy vozíkov na dopravníkovom páse, ovládanie a prijímanie signálov zo stroja Comasmo a tiež ovládanie koncového efektora. Riadenie robota je spolu so vstupno-výstupnými obvodymi a možnosťami programovania logických inštrukcií vhodné na riadenie aplikácie takéhoto druhu. Jednou z požiadaviek bolo, aby aplikáciu vedela obsluhovať osoba po základnom zškolení obsluhy, bez znalostí programovania. Aby sa to dosiahlo, bolo nevyhnutné do štruktúry programu pridať niektoré procesy, ktoré vykonávajú kontrolu všetkých dôležitých stavov, a program tvoriť tak, aby nemohlo dôjsť k neočakávanej situácii vyžadujúcej zásah programátora.

Postup prác a riešené úlohy

Na začiatku realizácie sa premiestnil stroj Comasmo podľa požiadaviek spoločnosti Danfoss. Toto premiestnenie však muselo zodpovedať dosahu robota Fanuc. Už pri príprave projektu bolo jasné, že robot bude musieť stáť na podstavci. Výška tohto podstavca bola presne určená v simulačnom softvéri ROBOGUIDE, kde bola namodelovaná známa výška miesta, kde sa obrobok odoberá a kde sa vkladá. Výsledkom je, že pri výške podstavca 650 mm bude mať robot optimálny dosah na miesto odobratia aj na miesto vloženia obrobku. Na prvý pohľad je konštrukcia podstavca veľmi masívna, avšak nevyhnutná, pretože sily a momenty, ktoré na podstavec prenáša robot, sú značné. Najnepriaznivejšia situácia nastane v okamihu núdzového zastavenia robota, keď na podstavec pôsobia sily a momenty rádovo tisíce N a N.m. Tomu zodpovedá aj ukotvenie podstavca do podlahy prostredníctvom závitových tyčí a chemického ukotvenia. Samotný robot držia na podstavci štyri skrutky M16x35 požadovanej pevnostnej kategórie. Robot bol spolu s podstavcom presunutý na miesto určenia. Pred samotným ukotvením podstavca bolo ešte nutné vykonať skúšku realizovateľnosti všetkých pohybov, aby sa overilo, či sa robot pri pohybe nedostane niektorou osou na limit.

Ďalším krokom bolo vytvorenie komunikácie medzi strojom Comasmo a zapojenie bezpečnostného okruhu. Komunikácia prebieha tak, že stroj Comasmo vyšle signál pripravenosti robotu vtedy, keď dokončí operáciu a možno vybrať hotový obrobok a vložiť neopracovaný. Na základe prijatia tohto signálu robot vyberie hotový obrobok, vloží nový, opustí pracovný priestor stroja a odošle signál štartu cyklu, ktorý vlastne nahrádza ručné spustenie pracovníkom. Bezpečnostný okruh obsahuje prepojenie okruhu núdzového zastavenia a bezpečnostného vypínača na dverách oplotenia. Komunikačný aj bezpečnostný okruh je medzi strojom a robotom galvanicky oddelený.

Ďalšou dôležitou časťou je koncový efektor, ktorý tvorí dvojité pneumatiké chápadlo s paralelným pohybom prstov. Všetky časti koncového efektora majú medzi sebou centrovacie kolíky a objímky, ktoré zabezpečia vždy rovnakú geometriu celku pri rozobratí a opätovnom zložení. Toto je obzvlášť dôležité, nakoľko sa robot pohybuje veľmi presne po naučených pozíciách, a akákoľvek zmena rozmerov koncového efektora by mohla spôsobiť nesprávne zakladanie obrobku do stroja Comasmo. Obe chápádlá koncového efektora sú konštruované ako dvojčinné, pneumatiké s vratnou pružinou, ktorá udržiava chápadlo v zatvorenom stave. Sila tejto pružiny sa pripočítava k sile vyvolanej tlakom vzduchu, a teda zvyšuje silu uchopenia obrobku. Okrem toho zabezpečuje táto pružina aj udržanie obrobku v prípade náhle straty tlaku vzduchu v pneumatickom rozvode. Keďže obrobky sú znečistené od reznej kvapaliny a od triesok z procesu obrábania, bolo nevyhnutné vybaviť obe chápádlá trvalým prefukom vodiacich častí prúdom vzduchu, aby sa zabránilo tomu, že sa do ich klzného vedenia dostane trieska a chod prstov zablokuje. Obe chápádlá sú vybavené snímačmi polohy prstov. Snímaná je poloha úplného otvorenia a poloha úplného zatvorenia prstov. Pri uchopení obrobku je poloha prstov práve medzi týmito dvoma krajnými polohami, teda ani jeden snímač nie je aktívny. Tento stav pre riadiaci systém znamená, že v čelustiach je uchopený obrobok. Všetky pneumatiké a elektrické vedenia vedú z koncového efektora do škatule umiestnenej na ramene robota, kde sú nainštalované ovládacie ventily oboch chápadiel. Samotné vedenia majú takú dĺžku, aby sa dokázali prispôbovať pohybom robota a proti oteru a zalomeniu sú chránené plastovým chráničom.

Zastavovanie vozíkov s obrobkami na páse dopravníka má na starosti tzv. stopper. Je to v podstate dvojčinný pneumatiký piest s veľmi krátkym zdvihom, konkrétne 20 mm. Je prispôbený na účinok bočnej sily, ktorá vzniká pri zastavovaní pohybujúcich sa predmetov. Zo stoppera sa do dráhy vozíka vysunie čap, ktorý ho zastaví. Vysunutie a zasunutie stoppera ovláda opäť robot prostredníctvom elektromagnetického ventilu. Vysunutie stoppera je snímané snímačom a tento signál kontroluje robot ako spätnú väzbu správnej činnosti stoppera. Na dopravníku môžu nastať rôzne situácie, napr. preplnenie dopravníka na strane za stopperom, nahromadenie vozíkov pred stopperom, náhodné zastavenie pásu dopravníka v prípade jeho poruchy a môžeme sem prirátat aj poruchu niektorého zo snímačov sledujúcich situáciu na dopravníku. Niektoré vozíky idúce po dopravníku smerom zo stroja jestadt môžu byť dokonca prázdne. Z tohto hľadiska bolo náročné vytvoriť algoritmus riadenia stoppera a s tým súvisiacich činností robota práve tak, aby sa zabránilo akejkoľvek neštandardnej situácii vedúcej k havárii robota. Toto sa podarilo a k havárii by nemalo dôjsť ani po poruche ktoréhokoľvek snímača, prípadne viacerých snímačov.

Posledným krokom pri tvorbe aplikácie bolo samotné naladenie rýchlostí pohybov na dosiahnutie požadovaného času taktu. Spolu s rýchlosťou sa upravil aj spôsob pohybov, doladené boli aj niektoré trajektórie. Výsledkom je dosiahnutie na pohľad harmonickejšieho pohybu, ale čo je dôležitejšie, znížilo sa opotrebovanie a namáhanie jednotlivých pohonov robota, čím sa predĺži jeho životnosť.

Robotický pomocník

Po základných vstupných parametroch zadania, ako sú nosnosť, dosah robota a požiadavky na riadiaci systém, sa vybral robot M6iB/6s s najnovším riadiacim systémom R30iA. Ide o variant s kratším ramenom, kde nie je potrebný veľký dosah. Vďaka tomu možno softvérovým zvýšiť jeho maximálnu nosnosť, čo sa náležite využilo aj v tejto aplikácii. Podľa požiadaviek sa nosnosť robota zvýšila na 10 kg pre prípad manipulácie s ťažšími predmetmi. Docielilo sa to úpravou parametrov servomotorov na koncovom zápästí, kde sa nepatrne znížili zrýchlenia a rýchlosti, ale citelne sa zvýšila nosnosť, čo má okrem iného priaznivý vplyv na životnosť robota. Robot nakladá aj vykladá na presne definované miesta. Koncovým manipulátorom je dvojité čelust', pričom vždy jedna a tá istá je nakladacia a druhá vykladacia.

Tento model robota má zabudovaný hardvér na pripojenie kamery na priemyselné spracovanie obrazu pre prípad, že by v Danfossé túto funkcionálnosť chceli v budúcnosti využiť. Štandardne je vybavený ethernetovým rozhraním s prístupom k jeho vnútorným stavom a premenným prostredníctvom IP adresy. Vďaka simulačnému softvéru možno znázorniť aj on-line činnosť robota na vizualizovanom pracovisku. Ethernetové rozhranie sa využíva aj ako spoločne využívaná správa, vďaka čomu má servisná spoločnosť diaľkový prístup k robotu.

Komunikácia

Robot dostáva signál od jednoúčelového stroja, že je v základnej polohe pripravený na vloženie obrobku a naopak, po vložení informuje robot stroj, že je mimo jeho pracovného priestoru a môže spustiť svoju činnosť. Robot dokáže zistiť prítomnosť palety a prichádzajúceho bloku, obsadenie palety, ako aj prítomnosť odchádzajúceho obrobku. Konceptcia je vytvorená tak, aby nedošlo k možným kolíznym stavom medzi paletami, dopravníkom a jednoúčelovým strojom. Posielané signály sú napätové do úrovne 24 V a spracúvajú sa vstupno-výstupnými kartami. Bezpečnostný okruh jednoúčelového stroja je realizovaný prostredníctvom bezpečnostného relé od spoločnosti Pilz. Jeden signál o pohybe dopravníka posielajú aj vstupné obrábacie centrum. Tento signál je pre robot impulzom pre pohyb smerom k dopravníku.

Po prvom zapnutí

Po prvom zapnutí spomínaných strojov a robota (napr. po pravidelnej odstavke pre potreby údržby) sa najprv potvrdzuje plná funkčnosť bezpečnostného okruhu stroja Comasmo, nasledovaná potvrdením funkčnosti bezpečnostného okruhu robota. Spojazdnia sa všetky pohony



stroja Comasmo, ktorý potom čaká na naloženie bloku a spustenie svojej činnosti. Comasmo posiela robotu signál o pripravenosti, po ktorom sa spúšťa kontrolná rutina okruhov robota (funkčnosť snímačov a pohonov). Za ňou sa robot presúva do referenčnej polohy, potom do medzipolohy, kde si vyprázdňuje čeluste (pre kontrolu snímačov) a nakoniec sa presunie nad odberné miesto nad dopravníkom, kde čaká na príchod palety s blokom. Príchod palety zaregistruje snímač a spustí pracovný cyklus.

Po odchode palety sa robot pohne po naprogramovanej trajektórii smerom k stroju Comasmo. Tam uchopuje hotový obrobok do prázdnej čeluste a vkladá na uvoľnené miesto blok prenášaný z palety dopravníka v druhej čelusti. S hotovým obrobkom sa robot presúva k dopravníku, kde už vyprázdnenými čelustami odoberá ďalší blok z palety na dopravníku. Potom koncový manipulátor otáča a kladie na uvoľnené paletu hotový obrobok z druhých čelustí.

Čelusť pochádza od spoločnosti Festo a pracuje na báze stlačeného vzduchu. Prispôbené sú upínacie segmenty na konkrétny tvar blokov, s ktorými sa manipuluje. Plné otvorenie aj zavretie čeluste naprázdno je zaznamenané príslušnými snímačom. Čelusť je konštruovaná na konkrétny tlak a spolu s regulátorom tlaku vyvíja potrebnú silu na uchopenie bloku.

Obslužný panel robota

Prostredníctvom obslužného panela možno vykonávať široký rozsah zmien v nastavení parametrov robota, ale zásadne len v manuálnom režime, ktorý sa využíva iba v nevyhnutných prípadoch a na základe príslušného oprávnenia, aby sa predišlo nežiaducim zásahom.



Pohľad na riadiaci systém robota R-30iA

Zber a archivácia údajov

Na linke prebieha kontinuálny zber početných parametrov, ako sú napr. pozície a priemery otvorov. Niektoré parametre merajú automaticky samotné stroje a zariadenia, niektoré sa zisťujú manuálne obsluhujúcim personálom. Obrábacie centrum na vstupe linky navyše priebežne počíta každý svoj výrobný takt, na základe čoho sa zisťuje kapacita výroby. Tá sa aktuálne pohybuje na hranici 33 000 kusov týždenne. Táto informácia sa prenáša aj do výrobnej databázy, kde sú okrem toho evidované aj iné podstatné údaje, napr. počet chybných kusov, ich paretová analýza (vyhodnotenie jednotlivých typov chýb) či prestoje (aj typy prestojov).

Záver

V závode sú s robotickým pracoviskom maximálne spokojní. Prinieslo im očakávané prínosy v podobe úspor nákladov, pričom návratnosť vložených investícií sa pri súčasnej výrobe odhaduje len na jeden až jeden a pol roka.

Branislav Bložon